

20031312

平成15年度厚生労働科学研究費補助金
化学物質リスク研究事業
研究成果報告書

生活用品、対策品からの化学物質の発生と
除去特性に関する研究
(課題番号：H13-生活-018)

平成16年3月

主任研究者 野崎 淳夫

生活用品、対策品の化学物質の発生と除去特性に関する研究
(平成15年度厚生労働科学研究費補助金研究成果報告書 目次)

序論 ー研究計画ー (野崎淳夫)	
1. 研究背景	1
2. 研究目的	1
3. 研究特色	1
4. 研究内容	1
5. 生活用品、対策品の概要	2
6. 研究体制	4
7. 研究フロー	5
第1編 ー試験評価法と試験システムの構築ー	
第1章 化学物質の健康影響 (池田耕一)	6
第2章 化学物質ガイドラインの現状 (池田耕一)	10
第3章 化学物質測定法の現状 (松村年郎、堀 雅宏)	12
1.3.1 ホルムアルデヒド	12
1.3.2 VOC	15
1.3.3 有機酸エステル類	17
第4章 対策技術の化学物質除去性能評価法の現状 (吉野 博)	20
第5章 対策技術の化学物質除去性能評価法の検討 (野崎淳夫)	22
1.5.1 シックハウス対策関連の汚染低減対策技術の現状	22
1.5.2 対策技術の効果判定法に関する既往の報告	22
1.5.3 対策技術の汚染物質除去性能試験法に関する提案	25
1) ベイクアウト	25
2) 空気清浄機	26
3) 日用汚染低減対策品	27
1.5.4 試験評価法の実験的検証	28
1.5.5 今後の課題	28
第6章 試験評価システムの構築 (野崎淳夫)	30
1.6.1 空気環境実験室の概要	30
1.6.2 試験評価システム (I) の構築	31
1.6.3 試験評価システム (II) の構築	32
1.6.4 試験評価システム (III) の構築	32
第7章 室内化学物質の簡易測定法 (堀 雅宏、松村年郎、野崎淳夫)	33
1.7.1 ホルムアルデヒド	33
1.7.2 VOC	34
1.7.3 PID利用測定装置	36

第2編 ー生活用品等からの化学物質の発生に関する研究ー	
第1章 家具からの化学物質の発生 (野崎淳夫、鈴木昭人)	39
2.1.1 住設家具	39
2.1.2 一般家具	46
第2章 衣類からの化学物質の発生 (野崎淳夫)	55
2.2.1 衣類	55
第3章 家庭用機器からの化学物質の発生 (野崎淳夫)	57
2.3.1 電気式暖房器具	57
第4章 塗料、接着剤からの化学物質の発生 (野崎淳夫)	65
2.4.1 塗料 (スプレー式)	65
2.4.2 自然塗料、天然接着剤	82
2.4.3 自然塗料	88
第5章 建材からの化学物質の発生 (野崎淳夫)	93
2.5.1 床下構成部材	93
2.5.2 フローリング	100
2.5.3 建具	107
第3編 ー各種対策技術の化学物質除去性能に関する研究ー	
第1章 家庭用空気清浄機の汚染物質除去性能 (野崎淳夫、飯倉一雄)	109
3.1.1 ホルムアルデヒド	109
3.1.2 VOC	118
3.1.3 その他の汚染物質 (タバコ煙) (野崎淳夫、清澤裕美)	145
3.1.4 その他の汚染物質 (花粉粒子) (野崎淳夫、清澤裕美)	151
第2章 多孔質建材の化学物質除去性能 (野崎淳夫、飯倉一雄)	157
3.2.1 塗り壁材	157
第3章 ベイクアウトの化学物質除去性能 (野崎淳夫、飯倉一雄)	166
3.3.1 アルデヒド類・VOC	166
第4章 換気システムの化学物質除去性能 (野崎淳夫)	176
3.4.1 床下換気システム	178
3.4.2 第2種換気システム (工藤 (啓))	183
3.4.3 天井懐等換気システム	198
第5章 光触媒利用技術の化学物質除去性能 (池田耕一)	199
3.5.1 ホルムアルデヒド・VOC	199
第6章 塗膜剤の化学物質除去性能 (野崎淳夫、堀 雅宏)	204
3.6.1 封止系塗料	204
3.6.2 グラフト重合塗膜 (堀 雅宏)	230

総論 ー室内発生源の発生量と対策技術の除去量ー (野崎淳夫)	
第1章 総括的室内濃度予測法に関する理論的検討	233
1.1 室内化学物質濃度の構成について	233
1.2 室内濃度予測式の提案	233
1.3 発生源発生量の低減率(R_r)を取り入れた室内濃度予測法	234
1.4 相当換気量(Q_{eq})の化学物質除去機構を有する室内の濃度予測法	235
第2章 室内発生源の発生量について	237
2.1 発生量 (M)	237
2.2 放散速度 (EF)	238
2.3 発生量のまとめ	238
第3章 対策技術の除去性能について	239
3.1 低減効果 (R_r)	239
3.2 相当換気量 (Q_{eq})	240
3.3 除去性能のまとめ	240
資料 研究成果の一覧	
1. 原著論文	241
2. 発表論文	241
①測定評価法	241
②生活用品からの化学物質の発生	241
・家具	241
・衣類	241
・家庭用機器	241
・塗料、接着剤	242
・建材	242
③対策技術の化学物質除去性能	242
・家庭用空気清浄機	242
・多孔質建材	243
・ベイクアウト	243
・換気システム	243
・塗膜剤	243
・日用汚染低減対策品	243

序論 研究計画および展望

序論

野崎淳夫(東北文化学園大学)

1. 研究背景

近年、ホルムアルデヒド、揮発性有機化合物（以下、VOC：Volatile Organic Compounds）などの化学物質による室内空気汚染が社会的に注目されている。汚染発生源としての建築材料に関わる化学物質発生量及び発生特性は、種々の研究により徐々に解明されつつある。

しかしながら、化学物質の室内発生源は多岐にわたり、居住者により室内に持ち込まれた化粧品、芳香剤、カーテン、家具、洗剤、ワックス、家電用品、ホビー用品などの生活用品も軽視できない発生源として指摘されている。また、近年では、室内空気汚染問題に対応した新しい建築材料や除去装置、すなわち対策品が市場に出現しつつある。例えば、建材の下地材からの揮散防止を目的としたバリアー性の高い封止系塗料がある。これらは除去効果の持続性、分解生成物の有無など不明な点が多い(図-1 参照)。

従って、総合的な室内濃度予測、換気設計法を実現する際の資料を得ることが、現状ではできない。加えて、化学物質に対する除去特性の試験・評価法も確立していない現状にある。

2. 研究目的

本研究では、1) 生活用品の発生量、発生特性を把握し、2) 対策品（多孔質材料、炭製品などや、空気清浄機、オゾン脱臭機、家庭用換気装置などの除去装置）の化学物質除去特性とその限界を実験的に明らかにするものである。次に、3) 実験に関わる適切な試験・評価法を確立し、4) 汚染物質（ホルムアルデヒド、トルエン、ベンゼン、キシレン類、p-ジクロロベンゼン等）の各種ガイドライン値と照合して総合的な室内濃度予測法、換気設計法を提案するものである(図-2 参照)。

結果として、生活用品の化学物質許容発生量が明確となり、適切な使用方法、製品開発時の資料として利用することができる。また、対策品の除去効果を知ることは、室内浄化設計法を確立する際の有用な資料になる。

両者は、高濃度の室内化学物質濃度の出現を回避できる工学的防止対策に道を拓くものである。

3. 研究特色

ホルムアルデヒドやVOCによる室内空気汚染が注目されるようになり、主たる発生源として、フローリング、パーティクルボード、接着剤、クロス等が指摘されている。

しかしながら、既往の研究は、従来用いられている建材を対象としており、新しく市場に出現しつつある対策品や身近な生活用品を対象としている研究報告は、ほとんど見当たらない。

すなわち、本研究は、以下の特色と実用性を有している。

1) 生活用品の発生量、発生特性の解明が行われる。生活用品

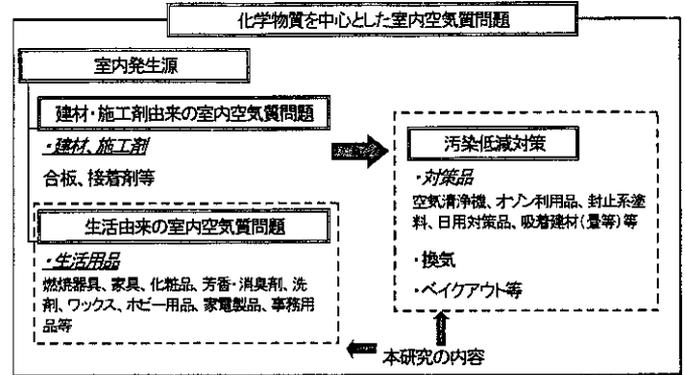


図-1 本研究の背景

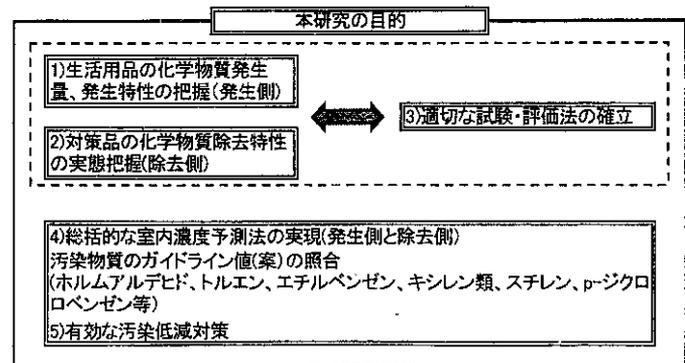


図-2 本研究の目的

に関しての許容発生量が明確となり、どの程度の汚染発生源を室内に持ち込めるかといった問題点を解決できる。

また、情報を開示することにより、製品開発時の基礎的資料となり、開発・製造過程で発生量を抑制できる可能性が拓かれる。

2) ホルムアルデヒド、VOC除去が記載されている対策品に対して、その具体的な室内における除去性能とその限界が明らかになる。

ここで得られた発生量、発生特性、及び除去特性の実験値により、適切な試験・評価法の確立が成される。また、建築環境工学・建築衛生学的観点に基づいた室内浄化設計が可能となり、ユーザー、製品開発者への有用な情報（使用方法、製品開発時の資料等）を提供できる。

4. 研究内容

本研究は、以下の年度計画（表-1 参照）に基づいて実践した(図-3 参照)。

1) 平成13年度の研究内容

a) 生活用品の化学物質発生量・特性の解明と試験評価法の確立
生活用品、対策品からの化学物質発生量、発生特性を求めるため、室内環境条件（温度、湿度、気流、換気量）を制御でき

るチェンバーを作製した。尚、実験チェンバーは、東北文化学園大学に建設された2つの空気環境実験室内に設置したものである。生活用品（化粧品、衣類、家具、芳香剤・消臭剤、ホビー用品等）をチェンバー内に挿入し、アルデヒド類（ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド）とVOCの発生量と発生特性を求めた。また、これらの物品に対する試験・評価法を具体的に提案し、これに基づいた物品等の特性値を明らかにした。

b) 対策品の化学物質除去性能とその限界

対策品や対策装置の効果を実験的に求めた。特に、有効な家庭用換気システムの開発に資する基礎的研究を行い、室内化学物質を有効に排出する床下換気システムについて検討を行い、試作機を作製した。

また、家庭用空気清浄機に関して、化学物質の除去特性に関する試験・評価法を確立し、最新の空気清浄機の化学物質除去特性を明らかにした。

2) 平成14年度の研究内容

a)、b)に関する実験の継続を行うと共に、特に、家具、電化製品、ワックス、水性ペイントからの発生と、炭製品、多孔質材料の吸着・分解反応による除去特性を明らかにし、同時に、光触媒、オゾンによる分解反応を利用した除去装置（脱臭機、空気清浄機）と有望な換気装置（床下換気装置等）について、除去特性（有効性）とその限界を明らかにした。また、分解反応等で生じた副生成物の有無を検証し、製品の実用性について明らかにした。

3) 平成15年度の研究内容

a)、b)に関する実験の継続を行うと共に、これらの結果から、生活用品、対策品に関する適切な試験・評価法を確立した。次に、得られた実験値より、高精度の室内化学物質の濃度予測法を具体的に提案し、予測値を提示した。

5. 研究対象

シックハウス症候群や化学物質過敏症等に関してホルムアルデヒドやVOCが大きく関与していることが近年の研究で指摘されている。

ホルムアルデヒドは、住宅において発生する代表的な化学物質の一つであり、無色で刺激臭を有し、常温で気体である。

また、水に良く溶け、35～37%の水溶液は通常ホルマリンと称されている。殺菌作用があるため、従来から標本保存用、消毒用、防腐剤として用いられている。

VOCは、常温で液体や固体の形で存在し得る蒸気圧のある有機化合物である。室内で1ppm以上の濃度を示したVOCは250成分を超えており、さらに900成分を超えるVOCが同定されている。この様に室内では種々のVOC成分が混在し、表-2に示すようにその発生源²⁾は多岐にわたる。

これまでに、建材などから発生したホルムアルデヒドやVOCによる健康被害が問題視され、事務所ビル、集合住宅における実測・実態調査や、各種建材や施工剤（接着剤等）に関する実験室実験等が行われ、その発生量・発生特性に関する知見も得

表-1 本研究の内容

平成13年度の実施項目 試験・評価法の現状把握 実験システムの作製 予備・本実験の実施	1)基礎的試験法、評価法の現状把握 2)実験装置の作製 3)生活用品からの室内化学物質発生量、発生特性、及び対策品の除去特性に関する予備実験 4)生活用品からの室内化学物質発生量、発生特性、及び対策品の除去特性に関する本実験 ・生活用品(ホビー製品、化粧品、衣料品、防虫剤・殺虫剤、造作家具) ・対策品(空気清浄機、畳、消臭剤)
平成14年度の実施項目 試験・評価法の提案 実験システムの作製 予備・本実験の実施	1)基礎的試験法、評価法の提案 2)実験装置の作製、改良 3)生活用品からの室内化学物質発生量、発生特性、及び対策品の除去特性に関する予備実験 4)生活用品からの室内化学物質発生量、発生特性、及び対策品の除去特性に関する本実験 ・生活用品(洗面台等の家具、家電製品、事務機器、自然塗料・接着剤、開放型燃焼器具) ・対策品(空気清浄機、換気システム、封止系塗料、日用対策品、畳、光触媒)
平成15年度の実施項目 本実験の実施 低減技術の有効な利用法の提案 試験・評価法の確立 室内濃度予測の実現	1)生活用品からの室内化学物質発生量、発生特性、及び対策品の除去特性に関する予備実験 2)生活用品からの室内化学物質発生量、発生特性、及び対策品の除去特性に関する本実験 3)分解性生物等の有無の検討 4)室内化学物質汚染対策技術の有効な利用法の提案 5)生活用品、対策品の適確な試験・評価法の確立 6)生活用品、対策品を有する室内の化学物質濃度予測の実

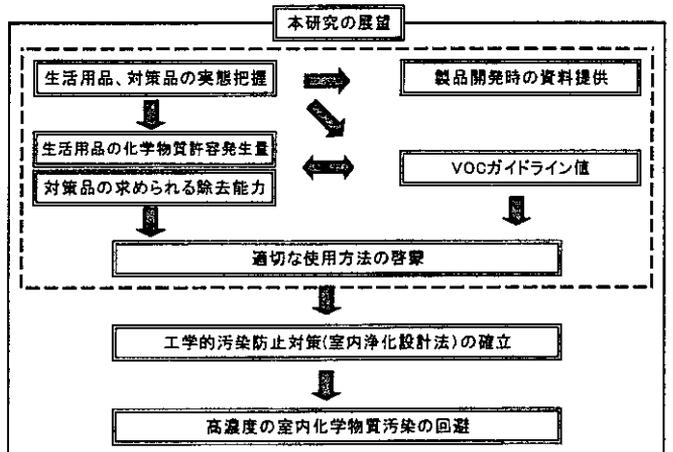


図-3 本研究の展望

られている。

しかしながら、集合住宅における実測・実態調査と建材・施工剤等に関する実験室実験の測定結果から、両者には成分や発生量等に関して符合しない側面が多い。

すなわち、生活由来からのホルムアルデヒド、VOCも室内空気汚染に大きく関与していることがわかる。この生活由来の汚染物質は、建材由来の汚染物質と異なり、居住者の住まい方に大きく左右されるので、常に新しい発生源が室内に存在するとも考えられる。図-4に室内汚染発生源と成り得る生活用品を示す。

また、近年では、室内化学物質汚染に対応した新しい建築材料、除去装置・製品等のいわゆる対策品が市場に出現しつつある。これらの製品は、図-5に示すように、接触型、蒸散型、噴霧型、薫蒸型、ろ過・回収型、排外型、封止系建材、吸着系建材などに分けることができる。

例えば、建材の地下材からの揮散防止を目的とした封止系塗料、吸着効果を利用した炭、珪藻土等の多孔質材料、また、化学物質の除去を目的とした脱臭装置、空気清浄機等が含まれる。

表-2 主な化学物質と室内発生源^{文献1)}

発 生 源	材 料	主な発生VOC
建材: 合板、パーティクルボード化粧板 壁紙、でん粉糊 プラスチック配管 畳 床 プラスチックタイル 木材 塗装面	(可塑剤、接着剤、原料VOC) (接着剤、溶剤、可塑剤、防カビ剤) 塩化ビニルモノマ (殺虫剤) (接着織、ワックス) 可塑剤、原料ガス、接着剤) (天然の成分) (有機溶剤)	n-デカン、n-ドデカン、トルエン、アセトン スチレン、エチルベンゼン、塩化ビニルモノマ 塩化ビニルモノマ、ウレタン、酢酸エチル 塩化ビニルモノマ α-ピネン トルエン、n-ヘキサン、ヘプタン、アルコール類、メチルエチルケトン、酢酸エチル、ブチエーテル
家具・調度品: カーペット タンス カーテン 空調機・空調システム 暖房、厨房機器 事務/日用品 家庭電化製品 自動車関連製品 真菌	(裏地、防ダニ剤、防菌剤、防虫剤、可塑剤) (防虫剤、接着剤) (難燃剤) 外気、ダクト内壁真菌やSVOCからの発生 不完全燃焼排ガス(開放型) コピー機、修正液、マーカ、接着剤、化粧品 清掃剤 掃除機、エアコン、(防菌剤、防ダニ剤)	塩化ビニルモノマ、スチレン プロパン、ブタン、イソブタン、アルデヒド類 ガソリンなど、ベンゼン 1-オクテン-3-オール、1-オクテン-1-オール、 9-ジメチル-1-デカノール、エステル、アルデヒド 炭化水素類 メタン、3-メチル-1-ブタノール、アセトン、 2-ヘキサノン、トルエン、アセトアルデヒド アルデヒド類、ニコチン等のSVOC
人/動植物 喫煙 外気	変異原性、臭気成分 (自動車排ガス、工場排ガス、汚染地下水、 外壁)	

文献1) 堀 雅宏: VOC(揮発性有機化合物)、IAQ(Indoor Air Quality)専門委員会報告(前半)、空気清浄、
 Vol.34, No.5, pp.58-59, 1997年

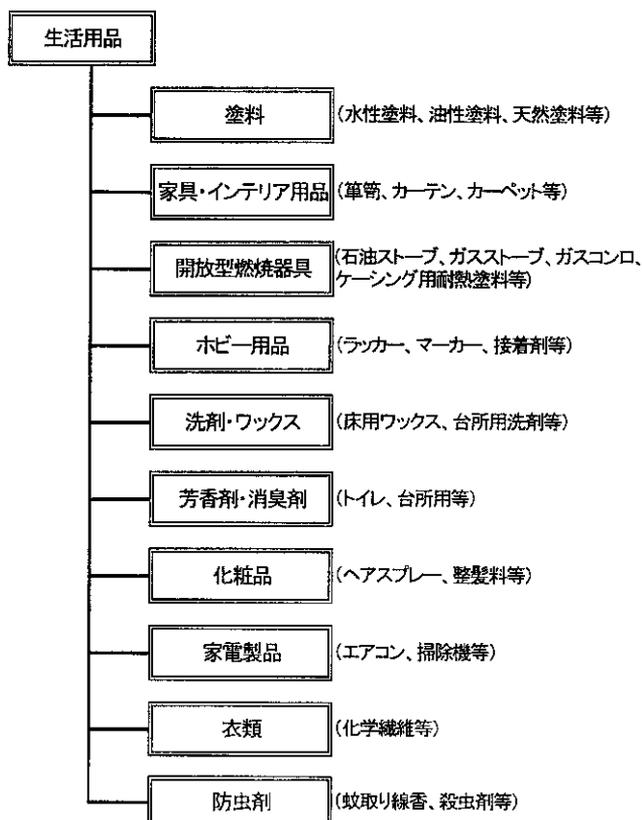


図-4 生活用品

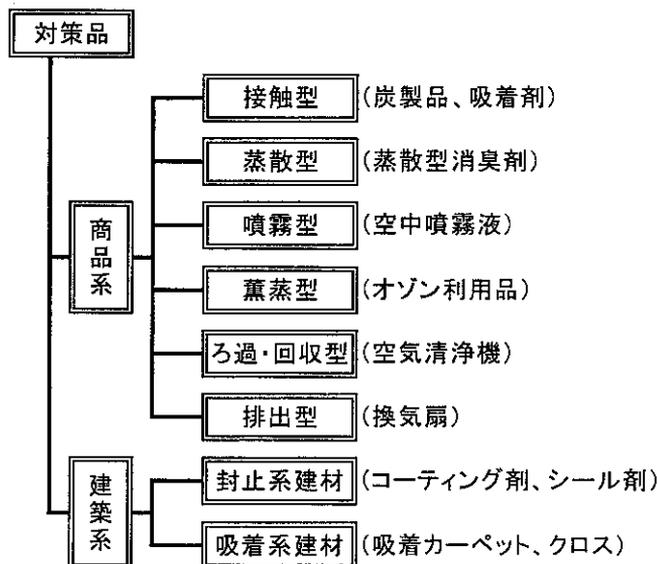


図-5 汚染低減対策品

6. 研究体制

本研究事業の研究体制と実施内容は、以下に示す研究体制

で行われた。研究統括者は、野崎淳夫（東北文化学園大学）である（図-6 参照）。

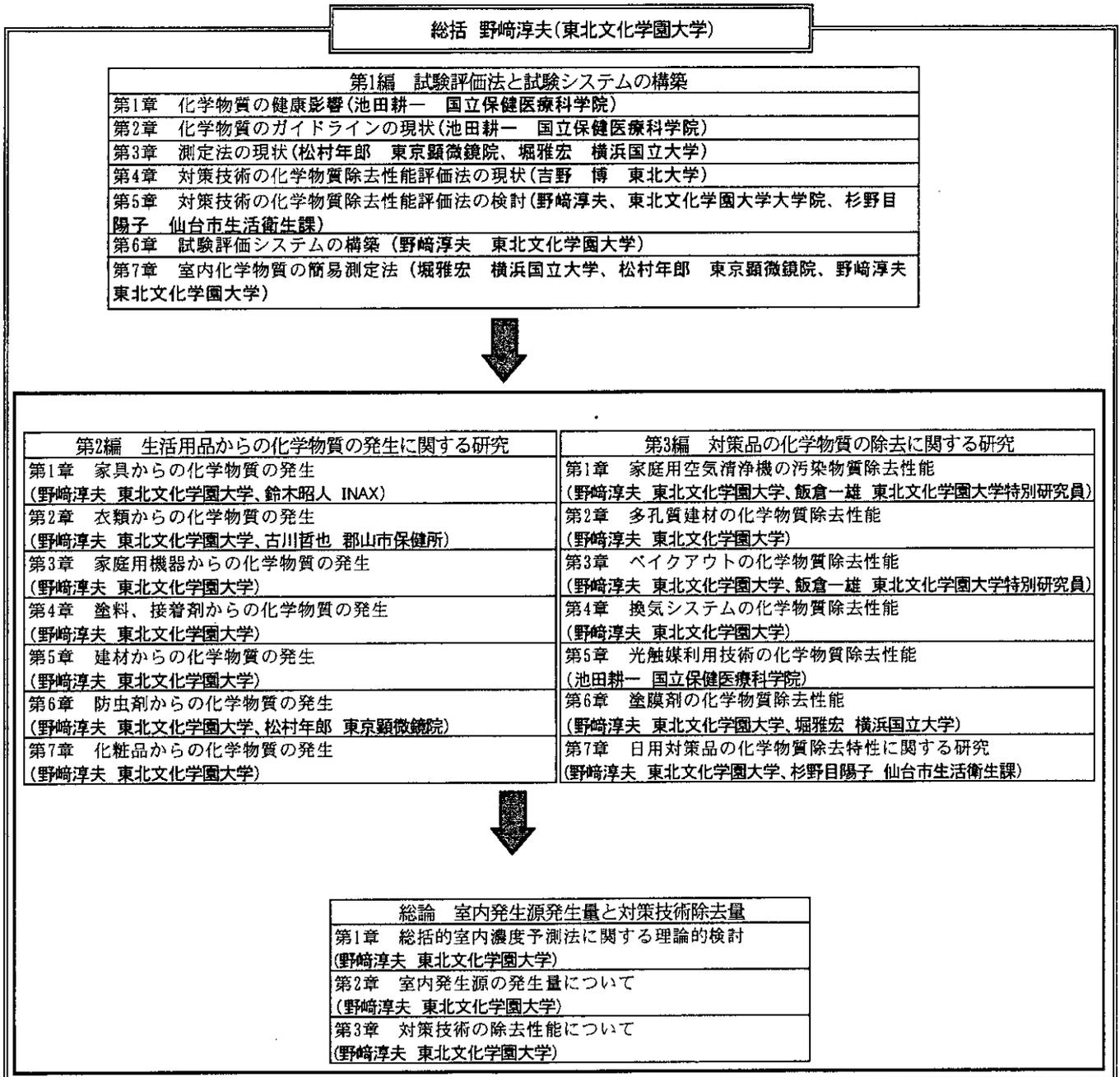


図-6 研究体制

研究協力者

- 主任 飯倉一雄（東北文化学園大学特別研究員）
 清澤裕美（東北文化学園大学特別研究員、(株)東京美装興業）
 橋本康弘（東北文化学園大学大学院生）
 折笠智昭（東北文化学園大学大学院生）
 浅野康明（東北文化学園大学大学院生）
 工藤彰訓（東北文化学園大学大学院生）

7. 研究フロー

本研究では、化学物質が発生すると考えられる生活用品と室内化学物質汚染に対応した対策品を選定・検討し、適した実験システムを完成する。

次に、生活用品からのホルムアルデヒド、VOC 発生量及び発生特性、並びに、対策品の低減効果とその限界について、実験室実験により求めるものである。また、これと並行して、適切な試験評価法を確立するものである。

実験で得られた知見より、適確な室内濃度予測法を実現し、各種汚染物質におけるガイドライン作成、建築環境工学的汚染防止対策（必要換気量、空気清浄システム、換気システム等）に資する有用な情報が得られるものである。

さらに、製品設置基準の検討や総量規制のアプローチを提示するものである。

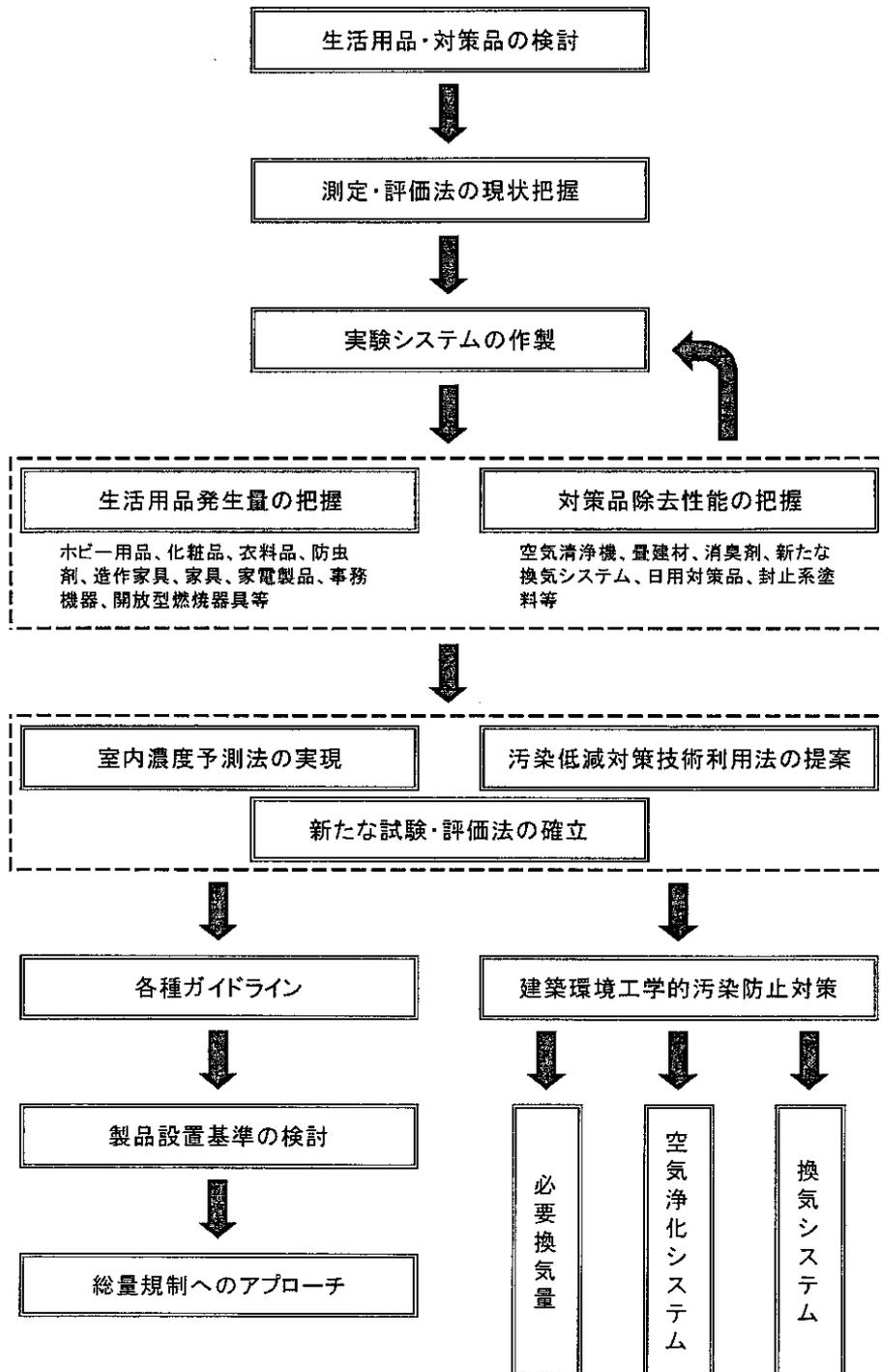


図-7 本研究のフロー

第1編 対策技術の試験評価法の 確立と試験システムの構築

第 1 章 化学物質の健康影響

第1章 化学物質の健康影響

池田耕一(国立保健医療科学院)

1.1.1 はじめに

我国におけるホルムアルデヒドや揮発性有機化合物等の化学物質による住宅等の一般環境室内における空気汚染問題は、「シックハウス問題」と呼ばれ、きわめて大きな社会的関心と呼び、1997年の6月には、当時の厚生省から異例とも言える早さで住宅室内におけるガイドライン値がホルムアルデヒドについて設定された¹⁾。また、2000年6月にはトルエン、キシレン、p-ジクロロベンゼンのガイドライン値も設定され、9月には、エチルベンゼン、スチレン、クロルピリホス、フタル酸n-ブチルについてもガイドライン値が設定されて、さらに「暫定値」とはしながらもTVOC(総揮発性有機化合物)の指針も示された。さらに2001年7月には、厚生労働省よりテトラデカン、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、ダイアジノン、ノナールのガイドライン値が示された。厚生労働省は、今後、半年に4、5物質の割合で最終的には40～50物質程度のガイドライン値を設定する予定である。このような状況を受けて、日本の建設会社、住宅メーカー、建材・仕上げ材のメーカー、空調機メーカーなどの建設関連の業界も、この問題が社会的に知られ始めた1995年頃に比べると、驚くほど前向きな姿勢で取り組み始めている。

1.1.2 対象とする主要化学物質の健康影響

1.1.2.1 ホルムアルデヒド

この化学物質は、ラワン合板、パーティクルボードなどに使用されている接着剤の原料としてよく用いられているため、それらの建材、家具等から発生する。また、通常は壁装材などからはホルムアルデヒドが直接大量に発生するとは考えにくいですが、それらを壁などに接着する際に使われる接着剤には、その原料としてホルムアルデヒドが使われていることがある。また、でんぷん糊のようにホルムアルデヒドを直接の原料としていないタイプでも、防腐剤として含まれている場合があり、それらのタイプの接着剤を使用した場合には相当程度ホルムアルデヒドが発出する。建材仕上げ材以外にも喫煙や石油やガスの開放型器具からも発生する。

ホルムアルデヒドは、0.08ppm程度になると目、喉等の人の粘膜を刺激し、人に不快感を与えることが知られており、前述の通り厚生労働省のガイドラインにより住宅室内では、0.08ppm以下となるように規定されている¹⁾。また、ホルムアルデヒドは、発ガン性がある可能性が高いことも知られておりIARC(国際ガン研究機構)²⁾、日本産業衛生学会³⁾、ACGIH(米国産業衛生専門家会議)⁴⁾、EPA(米国環境保護庁)⁵⁾などにおいても、「人間に対し発ガン性のある可能性の高い物質」とされている。また環境庁の234の有害大気汚染物質リスト⁶⁾の中の22の優先取り組み物質1つにも挙げられている。更に1996年に、建設省が厚生省、通商産業省、林野庁及び民間各団体等に呼びかけて発足した「健康住宅研究会」の優先取り組み物質の3物質(ホルムア

ルデヒドの他、後述のトルエン、キシレン)、3薬剤(可塑剤、防蟻剤、木材保存剤)の1つにも挙げられている。また、壁装材料協会は自主基準⁷⁾を作っており、その中にホルムアルデヒドも対象の化学物質の1つとして含まれている。

必要に応じて適当な参考資料⁸⁾を参照し、選択しようとしている壁装材などがこのような基準に適合しているかどうかを知っていることも、対策を考える上に必要となるものと思われる。

1.1.2.2 塩化ビニル

この化学物質は、ビニルクロス等の壁装材に用いられている。急性の毒性は比較的少なく、12%程度の高濃度にならないと明確な毒性は現れないが500ppmが臭いを感じる閾値であると言う⁹⁾。しかしながら前述のIARC²⁾、日本産業衛生学会³⁾、ACGIH⁴⁾、EPA⁵⁾などにおいて、先のホルムアルデヒドより1段上の「人間に対して発ガン性のある物質」とされている。ホルムアルデヒドのような室内のガイドラインは示されていないが、産業衛生学会の勧告値は、2.5ppmとなっている³⁾。また、環境庁の234の有害大気汚染物質リスト⁶⁾の中の22の優先取り組み物質1つにも挙げられている。

1.1.2.3 フタル酸エステル(類)

この化学物質は、1種類の化学物質ではなく、フタル酸ジメチル、フタル酸ジエチル、フタル酸ジオクチル、燐酸-o-クレジル等の一群の有機化合物の総称である⁸⁾。

フタル酸エステルは、壁装材料の可塑剤の原料として用いたり、経皮吸収性があり中枢神経に影響を与えるなどとされる⁸⁾が、それ以外の物質はその様な毒性はみられないとのことである。但し、ある程度以上の高濃度になると、目、皮膚、軌道との粘膜を刺激することが知られている。なお、発ガン性があるとはされていない。

ACGIHの許容濃度の勧告値(時間加重平均値)⁴⁾は、フタル酸ジメチル、フタル酸ジエチル、フタル酸ジブチル、フタル酸ジオキシルが5mg/m³、燐酸-o-クレジルは0.1mg/m³、燐酸トリフェニルは3mg/m³となっている。なお、フタル酸ジオキシルには、10mg/m³短時間曝露限界も示されている。

1.1.2.4 ベンゼン

ベンゼンは、最も広く利用されている化学工業製品の1つであり、建材や壁装材料関連では可塑剤の合成材料の1つとなる他、接着剤の原料ともなる。

広く使われる工業製品であるだけに、その生体影響も比較的良く調べられており、動物実験例を示せば表2⁸⁾の通りである。人体影響に関しては、3,000～5,000ppmの濃度で、目眩、頭痛、嘔吐、心臓狭窄等の急性中毒が現れ、その後数カ月後からは、

癲癇発作、健忘症、精神的遅鈍になる例もある⁸⁾ と言う。また、ベンゼンには発ガン性があるとされ、IARC²⁾、日本産業衛生学会³⁾、ACGIH⁴⁾、EPA⁵⁾ などにおいて、「人間に対して発ガン性のある物質」から「発ガンの可能性のある物質」にランクされている。

ベンゼンについては、室内のガイドラインは示されていないが、ACGIHと産業衛生学会の勧告値はいずれも10ppmとなっている。また環境庁の234の有害大気汚染物質リスト⁶⁾の中の22の優先取り組み物質1つにも挙げられている。

1.1.2.5 トルエン

トルエンは、ベンゼン環の内の1つの-Hがアルキル基(-CH₃)に変わったもので、色は無色で、ベンゼンの様な芳香を持つ。建材関係では壁装材の可塑剤や合成繊維などの合成原料の1つとなる。

トルエンは、ベンゼンより皮膚や粘膜への刺激が強く、蒸気吸収による中枢神経への作用もベンゼンより強いと言われている⁹⁾。100～200ppmの蒸気を8時間吸入すると疲労、嘔吐、鈍感覚、運動不随、無気力、嗜眠等の症状を呈し、600ppmの濃度になると短時間の曝露で激しい興奮、強い疲労、嘔吐、頭痛が起きるとされている⁹⁾。

トルエンについては、厚生労働省より、人の神経行動機能及び自然流産率への影響を考慮した室内ガイドライン値260 μg/m³ (0.07ppm)が示されている¹⁰⁾。また、ACGIH⁴⁾と産業衛生学会³⁾の勧告値は、それぞれ100ppmと50ppmとなっている。環境庁の234の有害大気汚染物質リスト⁶⁾の中の22の優先取り組み物質1つにも挙げられている。また前述のように健康住宅研究会の優先取り組み物質の3物質、3薬剤の1つにも挙げられている。

1.1.2.6 キシレン

キシレンはベンゼン環の2つの-Hが2つアルキル基(-CH₃)に変わったもので、その位置により、o-、m-、p-の3つの異性体がある。キシレンは建材関係では壁装材の可塑剤や防腐剤などの合成原料の1つとなる。

キシレンの蒸気を吸入すると顔面紅潮等の熱感を覚え、また中枢神経に影響を及ぼし、疲労感、目眩、のぼせ、酩酊状態等になるとされている。200ppm程度から目、喉、鼻などを刺激し始め、1,000ppmを越えるほどの高濃度になると出血性肺水腫を起こし、場合によっては死に至ることもある⁹⁾ と言う。

キシレンについては厚生労働省よりラットにおける中枢神経への影響を考慮した室内のガイドライン値870 μg/m³ (0.20ppm)が示されている¹⁰⁾。また、ACGIH⁴⁾と産業衛生学会³⁾の勧告値は、いずれも100ppmとなっている。また、前述の健康住宅研究会の優先取り組み物質の3物質、3薬剤の1つにも挙げられている。

1.1.2.7 パラジクロロベンゼン

パラジクロロベンゼンは、建材中に含まれることは殆どないが、防虫剤の原料の1つとして用いられる。15～30ppmで臭気

が感じられるようになり、80～160ppmで多くのヒトが、目や鼻に痛みを感じるという⁸⁾。マウスやラットを用いた動物実験では発ガン性があることが知られている他、ビーグル犬を用いた肝臓や腎臓への健康影響が分かっており、このことを踏まえ、現在検討中の厚生労働省のガイドライン値は、ビーグル犬における肝臓や腎臓への影響を考慮した240 μg/m³ (0.04ppm)である。

1.1.2.8 エチルベンゼン

エチルベンゼンは、無色で独特の芳香を持つ常温では液体の化学物質¹¹⁾で、スチレン単量体の中間原料溶剤、希釈剤などに使われる。臭いは、10ppm程度から感じられはじめ、数1,000ppmというような高濃度になると目眩や意識低下などの中枢神経系に影響が現れると言われている¹²⁾。また、発ガン性、変異原性、中枢神経毒性、刺激性などを有する¹²⁾。厚生労働省は、マウスやラットに対する吸入毒性試験における無毒性値(NOAE)に基づき、3.8mg/m³をガイドライン値としている¹²⁾。

1.1.2.9 スチレン

スチレンは、スチレンモノマーの別名で、ポリスチレン樹脂、合成ゴム、不飽和ポリエステル樹脂などの原料として用いられる常温では油状の無色ないしは黄色の液体状の化学物質である。急性影響としては、目喉、軌道などに対する刺激性を示し、反復曝露により皮膚炎を起こすことがあるとされている。発ガン性に関しては、IARC²⁾、日本産業衛生学会³⁾ ACGIH⁴⁾、EPA⁵⁾ などにおいて、「人間に対して発ガン性のある物質」から「発ガンの可能性のある物質」にランクされている。一方、催奇形性は、ないとするものとあるとするもの、両方がみられる¹¹⁾。厚生労働省のガイドライン値は、ラットにおける最小毒性量(LOAEL)に基づき、0.225mg/m³とされている¹²⁾。

1.1.2.10 クロルピリホス

クロルピリホスは、殺虫剤に使われる化学物質で、発ガン性、変異原性などに関するデータは報告されていないものの、動物実験による遺伝子毒性が報告されているほか、急性毒性として、下痢等の影響がある他、仔ラットの神経発達や新生児の脳の形態学的変化を起こさせることがあるとされている¹¹⁾。厚生労働省は、仔ラットの神経発達や新生児の脳の形態学的変化に基づいて0.001mg/m³をガイドライン値¹²⁾としているが、子供への影響が強いことを考慮して、小児の場合はそれより一桁低い値0.0001mg/m³をガイドライン値としている。

1.1.2.11 フタル酸ジ-n-ブチル

この化学物質は、塩化ビニルの添加剤や可塑剤、顔料などとして使われる¹¹⁾。急性影響としては、マウスによる実験で、運動失調、局所の麻痺、痙攣、昏睡などが認められたほか、慢性毒性としては、催奇形性、生態毒性等が報告されている¹¹⁾。厚生労働省は、生殖器の異常形態を示さないLOAELに基づき、0.22mg/m³をガイドライン値¹²⁾としている。

1.1.2.12 テトラデカン

テトラデkanは、飽和炭化水素系列の化学物質であり、厚生労働省により2001年7月にガイドライン値が設定された²⁰⁾。この物質に関しては、今までのところ発がん物質であることを明確に示す情報は、これまでに得られていない。一方、皮膚に対する刺激性が強いことが知られている。また、ラットを用いた90日間の経口投与試験を行ったところ、雌雄で肝臓(肝細胞肥大)及び腎臓の病理組織学的影響が認められた。これらの結果に基づき、厚生労働省は、テトラデkanの室内濃度に関する指針値を $330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.041ppm)と設定している。

1.1.2.13 フタル酸ジ-2-エチルヘキシル

フタル酸ジ-2-エチルヘキシルは、可塑剤としてビニールシートの製造に使われる化学物質であり、動物を用いた経口投与による実験により下痢や肝腫瘍を発生させることが認められており、体重増加抑制、摂餌量低下、アルブミン及び血中尿素窒素の上昇、グロブリンの低下が認められている²⁰⁾。また、肝細胞肥大、腎尿細管色素沈着、進行性慢性腎症、膵臓の増殖性病変(過形成及びアデノーマ)の増加、精巣の間細胞腫の減少、下垂体の去勢細胞の増加、精巣の無精子症の増加が認められている。ヒトにおいては、志願者による経口投与実験で10,000mgで軽度の胃腸障害及び下痢が認められている²⁰⁾。

以上により、厚生労働省は、この物質の室内濃度に関する指針値は、ラットにおける精巣の病理組織学的変化に関する評価に基づき、 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (7.6ppb)と設定することが適当としている²⁰⁾。

1.1.2.14 ダイアジノン

ダイアジノン、防虫剤などに使われる化学物質で、特徴のある臭気を発する無色の油状の液体である。その健康影響に関しては、ラットにおける血漿及び赤血球コリンエステラーゼ活性阻害に関する評価によると、比較的大量を動物に経口投与することによって、自発運動低下、鎮静作用、呼吸困難、運動失調、振戦、筋痙攣、全身痙攣、流涙、流涎、下痢など、副交感神経系の興奮作用に基づく、典型的な有機リン中毒症状が発現するとされる。

これらに基づき、厚生労働省は、ダイアジノンの室内濃度に関する指針値は $0.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02ppb)と設定することが適当としている²⁰⁾。

1.1.2.15 ノナナル

この物質についての知見は多くないが、生体がノナナルに曝露された場合、ウサギを用いた動物実験の結果として、血液中の血小板における生化学反応に、変調を起し得ることが示唆されている。また、ウサギの皮膚に対して強い刺激性を有し、ヒトの女性でも、1例のアレルギー性接触皮膚炎を悪化させたとの報告がある²⁰⁾。さらに、ノナナルを含むアルデヒド混合物について、ラットを用いた12週間の経口投与試験を実施した結果、NOEL(無毒性量)は $12.4\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ と推定されている。以上に基づき、厚生労働省はノナナルの室内濃度に関する

指針値(情報量が乏しいことから暫定値)は $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (7.0ppb)と設定することが妥当としている。

1.1.2.16 アセトアルデヒド

アセトアルデヒドは、ホルムアルデヒドのガイドライン設定後、構造が似ていることからその代替物質として急激に使用されるようになってきた物質である。これについては、ラットに対する経気道曝露に関する知見から、鼻腔嗅覚上皮に影響を及ぼさないと考えられる無毒性量を基に算出し、室内濃度指針値を $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と(30ppb)設定している。

1.1.2.17 フェノブガルブ

フェノブガルブは、農業用の殺虫剤に使われる化学物質で、これについては、ラットに対する経口混餌反復投与毒性に関する知見から、コリンエステラーゼ(ChE)活性阻害をはじめとする各種異常を認めないと判断される無毒性量を基に算出し、室内濃度指針値を $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8ppb)と設定している。

1.1.2.18 TVOC(総揮発性有機化合物)

以上述べてきた化学物質を含み、室内環境中には数百種類にのぼる揮発性有機化合物があるが、それら全てについて個別のガイドラインを作り、環境監視をすることは事実上不可能である。しかしながら、上記物質以外の物質のガイドライン値を設定しないままにしておくガイドライン値の設定された物質のみの濃度は下がるが、規制のない物質の濃度が逆に上がるという現象が起きる。例えば、日本においては、ホルムアルデヒドのガイドライン値ができたことによりその室内濃度は大幅に下がったが、それと似た性質を持つにも係わらず、ガイドライン値の設定されていない化学物質、アセトアルデヒドの濃度が高まっている。その様な弊害をなくすためには、個々の物質だけでなく、化学物質全体として、枠を設定する必要がある。その様な考え方でとられるのが、TVOCの規制である。

しかしながら、個々の化学物質だけでもガイドライン値を設定するのが困難であるのに、それらをまとめたTVOCに関する根拠を確立することは容易ではない。特に医学的(特に疫学的)に問題のない根拠の確立を待っていたのでは、TVOCのガイドラインなどは永久にできないと言っても過言ではない。そこで、日本の厚生労働省は、必ずしも医学的根拠に基づくとは言えないが、厚生省が実施した居住状態にある住宅での実態調査結果を基として合理的に達成可能なレベルとして判断されたものと言うことで、室内空気質のTVOC暫定目標値を $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とした¹³⁾。

参考文献

- 1) 厚生省、健康で快適な住宅に関する検討会議：「健康住宅関連基準策定部会化学物質小委員会報告書」1997
- 2) IARC(International Agency for Research on Cancer) Monographs, Vol. 62, 1994
- 3) 日本産業衛生学会：「許容濃度の勧告」、1996
- 4) ACGIH(American Conference of Governmental Industrial

- Hygienists): Documentation of Threshold Limited Values, 1996
- 5) EPA (Environmental Protection Agency): IRIS Information, 1994
- 6) 環境新聞: 「234 有害大気汚染物質リスト」1996年8月4日
- 7) 壁装材料協会: 生活環境の安全に配慮したインテリア材料に関するガイドライン」1997
- 8) 堀口博: 公害と毒・危険物、三共出版、1973
- 9) 「健康材料 MINI GUIDE」、建築知識97年12月号特別付録、1997
- 10) 厚生省シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会: 「室内空気汚染に係わるガイドライン」、厚生省生活衛生局生活化学安全対策室、2000
- 11) 大歳幸男: 「化学物質情報の正しい読み方」化学工業日報社刊、2000
- 12) 厚生省シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会: 「室内空気汚染に係わるガイドライン—室内濃度に関する指針値—」、厚生省生活衛生局生活化学安全対策室、2000
- 13) 厚生省シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会: 「総揮発性有機化合物(Total Volatile Organic Compounds, TVOC)の空気質指針策定の考え方について」、厚生省生活衛生局生活化学安全対策室、2000
- 14) 池田耕一、安藤正典、小川博、木村洋、野崎淳夫、堀雅宏、松村年郎、堀口弘: 「建材、機械等の揮発性有機化学物質に関する調査研究報告書」、ビル管理教育センター、1998
- 15) 池田耕一、松村年郎、堀雅宏、木村洋: 「集合住宅における室内空気質実態調査」その1HCHOの測定、第15回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集、pp. 373-376、1997
- 16) 大澤元毅: 「健康的な居住環境形成技術の開発」住宅・建築省エネルギー機構、2000
- 17) 木村洋、池田耕一、松村年郎、堀雅宏: 「集合住宅における室内空気質実態調査、その2、VOCの測定」第15回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集、pp. 377-380、1997
- 18) 飯倉一雄、野崎淳夫、吉澤晋、池田耕一、堀雅宏: 「集合住宅におけるベイクアウト効果に関する研究 (2)、室内HCHO、VOC汚染に関する研究(その2)、空気調和・衛生工学会講演会講演論文集、第1巻、PP. 57-60、1997
- 19) 池田耕一、野崎淳夫、吉澤晋、入江建久、飯倉一雄: 家庭用空気清浄機におけるガス状物質の除去特性に関する研究」平成9年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp. 61-64、1997
- 20) シックハウス(室内空気汚染)問題検討会「室内空気汚染に係わるガイドライン案について—室内濃度に関する指針案—」2001年7月

第2章 化学物質ガイドラインの現状

第2章 化学物質のガイドライン

池田耕一（国立保健医療科学院）

1.2.1 はじめに

前節においては、各種化学物質の健康影響について説明したが、それらの内、厚生労働省によってガイドライン値（表-1.2.1、1.2.2、1.2.3）が設定されているものについて以下に簡単に解説を行う。

1.2.1.1 ホルムアルデヒド

前節でも述べたとおり、1997年6月厚生省は、快適で健康的な住宅に関する検討会高の小委員会の検討結果を受けて、ホルムアルデヒドに関する住宅におけるガイドライン値を、WHOの同じ臭いの閾値に基づく値、 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （常温で0.08ppm、30分平均）とすることを決定した。このガイドラインはわが国における住宅の空気環境に関する最初のものであり、画期的な出来事であった。この決定の影響は大きく、それ以後わが国の新築住宅室内のホルムアルデヒド濃度は激減したと言っても過言ではない。

1.2.1.2 トルエン、キシレン、パラジクロロベンゼン

2000年6月厚生省は3年前のホルムアルデヒドに続いて表記3物質についてのガイドライン値を決定した。また、同時にホルムアルデヒドのガイドラインを設定したときには何も規定していなかった測定法や、サンプリングの方法などについても詳細な規定をした。

1.2.1.3 エチルベンゼン、スチレン、クロロピリホス、フタル酸ジ-n-ブチル、TVOC

2000年9月厚生省は3ヶ月前のVOC、3物質に続いて、下記4物質とTVOCについてのガイドライン値を決定した。このときのガイドライン設定に関する特筆すべき事項は、TVOCに関し、「暫定値」という表現ながら、ガイドライン値を設定したことである。これは、本来であるならば、ガイドラインのようなものは、確固たる医学的根拠に基づく研究成果に基づいて決定されるべきであるが、VOCのように、数百種類にも及ぶ複雑な特性を有する化学物質全てについてその様なガイドライン値を設定することは事実上不可能である。従って、次善の策として居住環境に比較的多く存在し、かつ健康影響が解明されている物質についてのみガイドライン値を設定するという方法である。これが現在とられている方法であるが、この方法だけでは、規制にかかった物質の室内空気中の濃度は低減するが、それ以外はかえって増加すると言った弊害を呼びがちである。実際、ホルムアルデヒドに関するガイドライン値設定後、住宅室内におけるホルムアルデヒド濃度は減っている反面、それと似た性質を有するにもかかわらずガイドライン値の設定されていないアセトアルデヒドの濃度が増えているという状況である。この様なことを防ぐためには、個別のVOCだけの規制に加え、VOC全体と

医しての規制が重要となってくる。即ち、TVOCとしてのガイドラインの確立が必要となってきた。しかしながら、個別の物質の健康影響でさえ十分に調べられていない現状で、確固たる学的に基づくTVOCの健康影響などというものが確立されるのはいつになるか全く見通しがたない。一方、健康影響がある程度分かっている物質についても、ヒトが示さない最小量などと言ったかなり重篤な影響に基づくものがほとんどで、論理的に言えば、厚生労働省のガイドライン値を守っていれば、生殖発生異常とか、生殖器の異常形態を示さないと言うだけであり、もう少し軽い影響、例えば、頭痛がするとか倦怠感を感じると言った程度の症状が起きないとか、室内の空気に不快感を感じないと言ったことが保証されるものではない。従って、必ずしも厳密な意味での健康影響のみに基づいて健康で快適な空気環境実現のためのガイドラインを作ろうとしてもいつになったら可能となるのか明確ではないことになる。そこで、健康影響以外にその根拠を求める方法がないかを探ることとなるが、このたびの厚生省のガイドラインは、まさにその様な試みの先駆けの試行であったと言える。

表-1.2.1 室内空気汚染物質のガイドライン
(厚生労働省公表、2000年12月)

揮発性有機化合物	毒性指標	室内濃度指針値*
ホルムアルデヒド	ヒト曝露における鼻粘膜刺激への刺激	$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08ppm)
トルエン	ヒト曝露における神経行動機能及び生殖発生への影響	$260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07ppm)
キシレン	妊娠ラット曝露における出生児の中枢神経系発達への影響	$870 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.20ppm)
パラジクロロベンゼン	ビーグル犬曝露における肝臓及び心臓への影響	$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04ppm)
エチルベンゼン	マウス及びラット曝露における肝臓及び腎臓への影響	$3800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88ppm)
スチレン	ラット曝露における脳や肝臓への影響	$230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05ppm)
クロロピリホス	母ラット曝露における新生児の神経発達への影響及び新生児脳への形態学的影響	$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07ppb) ただし小児の場合は、 $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.007ppb)
フタル酸ジ-n-ブチル	母ラット曝露における新生児の生殖器の構造異常等の影響	$220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02ppm)

*両単位の変換は、25°Cの場合による

表-1.2.2 室内空気汚染物質のガイドライン
(厚生労働省公表、2001年7月)

揮発性有機化合物	毒性指標	室内濃度指針値*
テトラデカン	ラットにおける経口曝露知見による肝臓への影響	$330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.041ppm)
フタル酸ジ-n-エチルヘキシル	雄ラットの経口投与による精巣への影響	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (7.6ppb)
ダイアジノン	ラットの吸入曝露毒性に関する知見による血漿および赤血球コリンエステラーゼ活性への影響	$0.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02ppb)
ノナール	ラットへの経口曝露による毒性学的影響	$41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (7.0ppb)

*両単位の変換は、25°Cの場合による

表-1.2.3 室内空気汚染物質のガイドライン
(厚生労働省公表、2001年10月)

揮発性有機化合物	毒性指標	室内濃度指針値*
アセトアルデヒド	ラットにおける経気道曝露知見による鼻粘膜上皮に影響を及ぼさない無毒性量。	$48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (30ppb)
フェノール	ラットにおける経口曝露知見による血漿および赤血球コリンエステラーゼ活性低下を認められなかった無毒性量。	$33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8ppb)

*両単位の変換は、25°Cの場合による

なお、厚生労働省は上記の諸物質に続き、半年に4から5物質程度の割合で、新しいガイドラインを確定していく方針であり、2001年の7月にはテトラデカン、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、ダイアジノン、ノナナールについて、さらには10月にはアセトアルデヒドとフェノブガルブのガイドラインを発表した。最終的には、40から50程度の物質についてガイドラインが設定される予定である。

第3章 測定法の現状